

Mevlüt ARSLAN
Atila Abir İGCI
Necdet ALTUNTOP

Özet:

Bu çalışmada, güneş enerjili ısıtma sistemlerinde kullanılan ve içerisinde ısı transferi gerçekleşen, silindirik sulu ısı enerjisi depolama tankı içerisine giren sıcak su debisinin değiştirilmesinin sıcaklık tabakalaşmasına etkisi nümerik olarak incelendi. Silindirik tankın içerisine $f/H=0,133$ ve $g/D=0,2$ oranların da ortası delik tek tip silindirik engel konularak tank modeli oluşturulmuştur. Konularak silindirik engel, tankın alt ve üst tarafında bulunan sıcak ve soğuk akışkanların, birbirine karışmasını engelleyerek, sıcaklık tabakalaşmasının muhafaza edilmesini sağlamaktadır. Engelli ve engelsiz tank modellerinde tanka giren sıcak suyun hızları değiştirilerek, sıcaklık tabakalaşmasındaki değişimler belirlenmeye çalışıldı ve tank içerisindeki sıcaklık dağılımına etkisi gözlemlendi. Tanktan alınan kullanım suyunun, kolektörden gelen su sıcaklıkları ile kullanım suyu sıcaklık farkları değişimleri hız değerlerine göre grafik üzerinde gösterildi. Engelli ve engelsiz tanklarda oluşturulan sıcaklık dağılımları karşılaştırılarak, kullanıma verilen su sıcaklığının en yüksek değere ulaşmasına çalışıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda $Vk=0,8$ m/s değerinde en iyi sıcaklık tabakalaşmasının sağlandığı görüldü.

Bu çalışmayı, sıcak su tanklarında sıcaklık tabakalaşması konusundaki geçmişte yapılmış çalışmaların ayıran farklılığı, sıcak su tankı içerisine, sıcaklık tabakalaşmasını artıran ve uzun süre tabakalaşmanın bozulmadan muhafaza edilmesini sağlayan tek tip ortası delik silindirik engelin, sıcak ve soğuk su arasında, farklı sıcak su giriş hızı değerlerinde kullanılmasıdır. Ayrıca geçmişte yapılan çalışmalar bir veya iki boyutlu olup bu çalışmada, üç boyut ve zaman dikkate alınarak çözüm yapıldı.

Anahtar Kelimeler:

Sıcaklık tabakalaşması, sıcak su tankı, tank engelleri

Sıcak Su Tanklarındaki Tabakalaşmanın Giriş Debisi ile İlişkisinin Analizi

1. GİRİŞ

Güneş enerjisini su ısıtma, uygulamalarında kullanmak için bu enerjinin bir kısmının depolanarak güneş olmadığı günlerde kullanıma verilmesi gerekmektedir. Güneş enerjisi ile ısı enerjisi depolama, domestik ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sulu ısı enerjisi depolama ünitelerinde, depolanan sıcak su, kullanılmaya başlandığında, eksilen suyun yerini, şehir şebekesinden gelen soğuk su doldurmada ve tanktaki sıcak su ile arışması sonucu, tanktaki karışım suyu sıcaklığı hızla düşmektedir. Bu çalışmada belirtilen olumsuzluğun bertaraf edilmesi için tank içerisine tek tip silindirik engel yerleştirilerek oluşturulan tank modelinde tanka giren sıcak su hız değerleri değiştirilerek hem çok kısa sürede sıcak ve soğuk suyun birbirlerine karışmaları engellenmeye hem de en iyi ısı tabakalaşmanın oluşturulmasına çalışıldı.

Konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda örneğin, ALIZAEH, silindirik paralel depolama tankının ısı davranışını nümerik ve deneysel olarak çalıştı. Nümerik çalışmada bir boyutlu "Turbulent Mixing" ve "Dispacement Mixing" modelleri kullanıldı. Bu modellerin kullanımı ile tank içindeki dikey sıcaklık dağılımının kararsız davranış göstermesi engellenmiştir[1].

AL-NİMR, sıcak su depolama tanklarında, çeşitli dizayn parametrelerinin tankta oluşan ısı tabakalaşma üzerindeki etkisini ve suyun tanktan istenilen sıcaklıkta çıkması için gereken zamanı analitik olarak belirledi[2].

MISRA, güneşli su ısıtma sistemlerinde termosifon etkili sıcak su tanklarında ısı tabakalaşma üzerine teorik ve deneysel olarak çalıştı. Tankta sıcaklık dağılımını veren analitik ifadeleri verdi. Termosifon sistemlerde zamana bağımlı olarak depolama tankında tabakalar arasındaki iletile ısı transferini diyagramlarla gösterdi[3].

HELWA ve MOBARRAK, güneşli su depolama tankında oluşan sıcaklık

HARIHARAN ve BADRINARAYANA, sıcak su depolama tanklarında oluşan sıcaklık tabakalaşmasını nümerik ve deneysel olarak çalıştılar. Sistem üzerinde, işletme ve çevrenin ısı tabakalaşmaya etkileri araştırıldı. Sonuçta, su debisinin azaltılmasıyla oluşan sıcaklık farkının artması ile tabakalaşmanın iyileştiği ve sistem için L/D'nin optimum değerinin 3-4 arasında olduğunu belirlediler[5].

HAHNE ve CHEN, sıcak su depolarında akışkan ve ısı transferi karakteristikleri konusunda çalıştılar. Bu çalışmada depolama verimini, ısı tabakayı elde etmek için kullandılar. Sonuçta, Richardson ve Peclett sayılarındaki artışın dolma verimliliğini artırdığı belirlendi[6].

PRAPAS ve TSIAMOURIS, geniş bölgesel güneşli sıcak sulu sistemlerinin işletme modeli ve birbirine bağımlı depolama tankları üzerine nümerik olarak çalıştılar. Bu çalışmada hissedilir ısının depolanması için çok sayıda depolama tankı gereklidir. Yüksek performans için; depolama tankları ile yüksek sıcaklık tabakalaşması arasındaki ilişki ve kullanıcıya yüksek derecede çabuk ısı enerji transferi için sistem modeli tahminleri yaptılar[7].

MO ve MİYATAKE, ısı tabakalaşma oluşan depolama tanklarında kararsız türbülans akış alanı üzerine nümerik olarak çalıştılar. Çalışmada türbülans k-modeli kullanıldı. Çalışma, sıcak akışkan ile soğuk akışkanın yer değiştirmesi ile oluşan kararsız türbülans akış alanının, tanktaki ısı tabakalaşmaya etkisini içerir[8].

YOO ve KIM, değişken giriş sıcaklıklarında depolama tanklarına oluşan ısı tabakalaşma üzerine analitik çözümler yaptılar. Bu çalışmada, süper pozisyon prensibi kullanılarak plug akış bölgesindeki sıcaklık profilleri başarılı bir şekilde formüle edilmiştir[9].

EAMES ve NORTON, düşük Reynolds sayısına sahip akışlar için, hissedilir ısı depolamada oluşan ısı taba-

sı üzerinde akışkanın giriş ve çıkış etkilerini, parametrik analiz olarak ortaya koydular[10]. Bu çalışmada, içerisinde taşınım ile ısı transferi gerçekleşen, sulu ısı enerji depolama tanklarında sıcaklık tabakalaşmasına, sıcak su giriş hız değerlerinin etkisi nümerik olarak incelendi. İçerisine tek tip silindirik engel konularak oluşturulmuş silindirik koordinatlardaki tank içerisine giren sıcak su hız değerleri değiştirilerek, hangi hız değerinde tabakalaşmanın daha iyi olduğu belirlenmeye çalışıldı. Çalışmada, kullanılan ve ısı depolama ortamı olarak kullanılan akışkan su olup, akış türleri türbülanslı kabul edildi. Çünkü tank içine konulan engellere akışkanın çarpması sonucu, akım çizgilerinde geri dönmeler ve vorteksler oluşmaktadır. Bu nedenle çözümler duvar fonksiyonu metodu kullanılarak standart türbülans akış modeline göre çözümler yapıldı.

2. TEORİK MODEL VE MATEMATİKSEL

TANIMLAMASI

Bu çalışmada, taşınım ile ısı transferi gerçekleşen sulu ısı enerji depolama tankında sıcaklık tabakalaşması Şekil 1'de fiziksel ölçüleri verilen silindirik dikey tank içi nümerik olarak incelendi. Problemi tanımlayan genel korunum denklemlerin çözümlenebilmesi için, problemle ilgili olarak bazı kabuller yapıldı. Yapılan kabuller, akışın türbülanslı olduğu, zamana bağımlı ve akışkan özellikleri sabittir. Problem Fluent 6.1 paket programında türbülanslı akışa göre modellenerek çözüldü.

Bu fiziksel modele göre problemi tanımlayan temel korunum denklemleri, sırasıyla aşağıda verilmiştir. Genel olarak kütle korunumu denklemi sıkıştırılmayan akışkan ($\rho = \text{sabit}$) ve süreksiz akış için, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri üç boyutlu silindirik koordinatlarda akış için aşağıdaki gibi ifade edildi. Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \left[\frac{1}{r} \frac{\partial (rV_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial V_z}{\partial z} \right] = 0 \quad (2.1)$$

dir. Momentum denklemleri, gövde üzerinde hareket eden dış kuvvetlerin toplamına eşit olan, ivme ve kütle üretimini belirten Newton'un İkinci Kanunu'ndan türe-

Makale

tildi. Akışkan hareketinde dış kuvvetler, gövde ve yüzey kuvvetleri olarak düşünüldü.

r – yönündeki momentum denklemi:

$$\rho V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \rho V_\theta \frac{\partial V_r}{\partial \theta} + \rho V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} = \rho \nu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right)$$

Çalışma için depolama ünitesi olarak, yüksekliği 1.5 m, çapı 1 m olan silindirik tank seçildi. Sıcak su giriş hızları sırası ile 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 m/s değerlerinde alınarak kullanıma verilen su sı-

$$r \frac{\partial v_r}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (v_r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial (v_q v_r)}{\partial q} + r \frac{\partial (v_z v_r)}{\partial z}$$

$$= \frac{2r}{\partial t} + m \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r v_r)}{\partial r} \right) \right] + m \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{2 v_r}{\partial z} \right) + \frac{2 v_r}{\partial z^2} \right]$$

$$+ m \left[-\frac{2}{r^2} \frac{\partial v_q}{\partial q} \right] + \frac{r v_q^2}{\partial q} + r g_r b^3 T \quad (2.2)$$

q – yönündeki momentum denklemi:

$$r \frac{\partial v_q}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r v_r v_q)}{\partial r} + \frac{\partial (v_q v_q)}{\partial q} + \frac{\partial (v_z v_q)}{\partial z}$$

$$= \frac{2r}{\partial q} + m \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r v_q)}{\partial r} \right) \right] + m \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{2 v_q}{\partial z} \right) + \frac{2 v_q}{\partial z^2} \right]$$

$$+ m \left[\frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial r} \right] \frac{v_r v_q}{r} + r g_q b^3 T \quad (2.3)$$

z – yönündeki momentum denklemi:

$$r \frac{\partial v_z}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r v_r v_z)}{\partial r} + \frac{r \partial (v_q v_z)}{\partial q} + r \frac{\partial (v_z v_z)}{\partial z}$$

$$= -\frac{2r}{\partial z} + m \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r v_z)}{\partial r} \right) \right] + m \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{2 v_z}{\partial z} \right) + \frac{2 v_z}{\partial z^2} \right]$$

$$+ r g_z b^3 T \quad (2.4)$$

Enerjinin korunumu denklemi silindirik koordinatlarda üç boyutlu akış için;

$$r C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_q}{r} \frac{\partial T}{\partial q} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

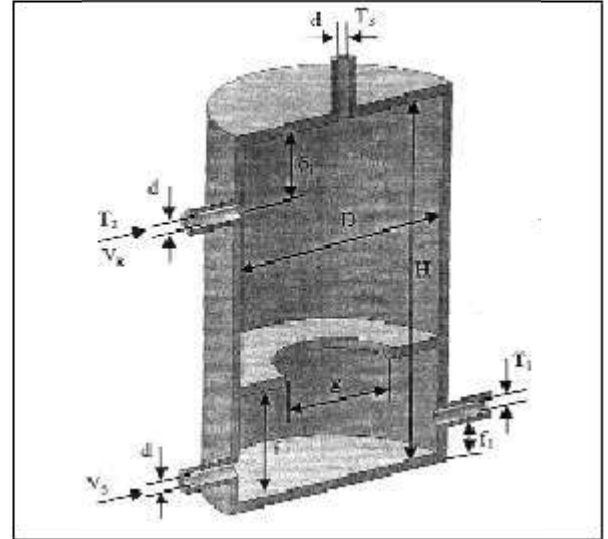
$$= k \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial q^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\} \quad (2.5)$$

dir. Bu ifadelerde, v_r , v_q , v_z sırası ile r, θ , z yönlerindeki hızlar, T: sıcaklık, μ : dinamik viskozite, ρ : yoğunluk, b: ısıl genleşme katsayısı, k: ısı iletim katsayısı, gr, g

ısı transferinde alınarak, kullanımına venen su sıcaklığı 333 K ve tank içerisindeki su sıcaklığı 320 K alındı. Şehir şebekesinden gelen suyun hızı 1 m/s ve sıcaklığı 285 K alındı. Bilgisayar simülasyonunda üzerinde çalışılan silindirik sıcak su depolama tankı Şekil 1'deki gibi dikey olarak konumlandırıldı. Tankın üst kısmında eksenal yönde sıcak kullanım suyu (T3) kanalı, tankın üst kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda sıcak su giriş kanalı (T2), tankın alt kısmına yakın silindirik yüzeyde ve radyal doğrultuda soğuk su giriş (T4) kanalı, soğuk su giriş kanalına tam simetrik olarak radyal doğrultuda silindirik yüzeye yerleştirilmiş soğuk su çıkış (T1) kanalı bulunmaktadır.

Kütlenin korunumu, momentum ve enerji denklemleri, ısı transferi ve akışkanlar mekaniğinde temel denklemler üç boyutlu akış için cebirsel hale getirildi. Temel denklemlerin cebirsel hale getirilmesinde; bu denklemlerin konveksiyonla ilgili kısımlarına Upwind metodu, difüzyonla ilgili kısımlara ise Merkezi-Farklar metodu uygulandı[11].

Şekil 1. Seçilen tank modeli ve fiziksel özellikleri Sıcak ve soğuk su giriş-çıkış kanallarının çapları d=



00.02 m'dir. Soğuk su giriş ve çıkış kanallarının tankın alt kısmına olan mesafesi $f_1 = 0.04$ m'dir. Silindirik engelin çapı 1 m, 0.02 m et kalınlığıda ve ortasına 0.2 m çapında delik açılmıştır. Engelin tank tabanına olan mesafesi $f = 00.2$ m'dir. Sıcak su giriş kanalının, tankın üzerine olan mesafesi $f_1 = 0.2$ m alındı. Tankın üst kısmında, sıcak su kullanım kanalının bulunduğu bölgede, kullanım esnasında yüksek sıcaklıkta uzun süre su bulundurulması istenmektedir. Bu nedenle, bu bölgede sıcaklık tabakalaşmasını oluşturmak için tankın içine giren sıcak su hızları sırası ile 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5,

her birinin nümerik çözümü, bir kalıntı değeri içerir. Bu kalıntı değeri kontrol hacmi içindeki bütün hücreler için hesaplanan eşitliklerdeki kalıntılının toplamıdır.

Bu simülasyon çalışmasında; basınç denkleminin underrelaxation faktörü 0.3, momentum denklemlerinin underrelaxation faktörü 0.7, enerji denkleminin underrelaxation faktörü 1, türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans dissipation rate (e) underrelaxation faktörü 0.8, türbülans viskozite (μ_t), gövde kuvveti ve yoğunluğun underrelaxation faktörleri ise 1 seçildi. Süreklilik, mo

0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1 m/s değerlerinde alındı. Silindirik tank içerisine yerleştirilen tek tip ortası delik silindirik engelin şekli Şekil 1'in üzerinde görülmektedir. En iyi sıcaklık tabakalaşmasının sağlandığı durumdaki sıcak su hız değeri bilgisayar simülasyonu sonucunda aşağıda verilecektir.

2.1 Akışkanın Fiziksel Özellikleri ve Sınır Şartları

Bu çalışmada suya ait termodinamik özellikler dikkate alındı. Tankın içerisindeki akışkanın ilk andaki hızları sıfır, tanktan kullanım için sıcak su alınmaya başlandığı anda su sıcaklığı 320 K ve sistemin çalışma basıncı 1 atmosfer alındı. Sıcak su depolama tankından sıcak kullanım suyunun alınmaya başlandığı ve bittiği an çözüm aralığı olarak kabul edildi. Bu süre 30 dakika olup, problem zamana bağlı olarak çözüldü.

2.2 Problemin Nümerik Çözümünde Seçilen Yöntemler

Hız ve sıcaklık dağılımları fluent paket programı kullanılarak elde edildi. Çözümler; segregated çözücüsünde tam implicit metot kullanılarak üç boyutlu ve zamana bağlı elde edildi. Kullanılan programda, basınç denkleminin diskirize edilmesi işlemi için standart metot; momentum, enerji, türbülans kinetik enerji ve türbülans dissipation rate denklemlerinin diskirize işlemi için birinci derece upwind metot seçildi. Basınç-hız denklem çiftlerinin diskirize işlemi için ise SIMPLE algoritması kullanıldı.

2.3 Yakınsama ve Underrelaxation

Nümerik bir çalışmada, çözümün yakınsama kriterlerine uyması, CFD modellemesinde çok önemlidir. Paket programda temel denklemlere ait cebirsel eşitliklerin

momentum, enerji, türbülans kinetik enerji ve türbülans dissipation rate denklemlerinin yakınsama kriterleri için 0.001 ve enerji denkleminin yakınsama kriteri için ise 0.000001 değerleri alındı. Süreklilik, momentum, enerji, türbülans kinetik enerji ve türbülans dissipation rate denklemlerinin yakınsama değerleri yukarıda ifade edilen değerlerin altında olduğu zaman, programın temel denklemlere ait cebirsel denklemleri, nümerik olarak doğru çözdüğü kabul edilir[12].

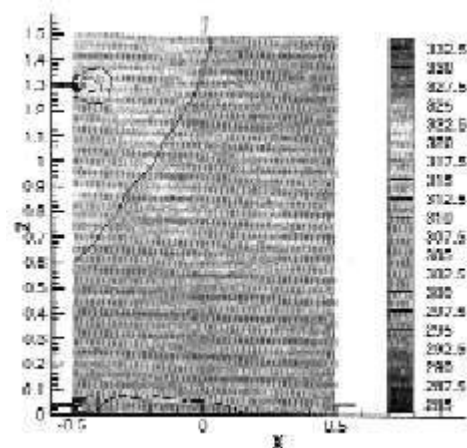
3. TANK MODELLERİNE GÖRE SICAKLIK DAĞILIMLARI VE GRAFİKLER

Depolama tankında sıcaklık tabakalaşması oluşturmak için ortası delinmiş tek tip silindirik engelleri tank modeline giren sıcak su hızları farklı değerlerde alınarak en iyi ısı tabakanın hangi hız değerinde olduğu, bilgisayar simülasyonu ile nümerik olarak belirlenmeye çalışıldı. Bu çalışmada amaç; uzun süre sıcaklık tabakalaşması bozulmadan yüksek sıcaklıkta kullanım için su sağlamaktır. İdeal tabakalaşma oluştururken sıcak su hız değeri seçiminde; sıcak su tankının alt kısmından giren soğuk şehir suyunun (T4) tankın üst kısmından güneş kolektöründen sağlanan yüksek sıcaklıktaki suyun oluşturduğu sıcaklık tabakalaşmasını bozmamasına dikkat edildi. Çünkü depolama tankına giren suyun hızının yüksek seçilmesi, tank içerisinde akım çizgilerinde dönmelere ve türbülansa neden olur. Bunun için tanka giren sıcak su akım çizgilerinin sıcak su tabakasını bozması istenmektedir. Tanktan alınan sıcak kullanım suyunun debisi, şehir suyu debisi ile aynı olacağı düşünülerek, tüketilen sıcak su kadar, şehir suyunun tanka girdiği düşünüldü. Şehir suyunun hızı 1 m/s'dir.

Makale

Tank çeperlerine ve konulan engele, soğuk-sıcak akışkanların çarpması ve radyal doğrultudaki giriş kanallarının etkisi sonucu akım çizgilerinde geri dönmeler, vorteksler oluşmaktadır. Bu nedenle çözümler; FLUENT 6.1 paket programında duvar fonksiyonu metodu kullanılarak standart k-e türbülans akış modelinde yapıldı.

Depolama tankının radyal yöndeki soğuk su giriş ve çıkış kanalları aynı eksen üzerindedir ve simetrik konumundadırlar. Bu olay da, tanka girilen soğuk suyun büyük bir kısmının, soğuk su çıkış kanalına (T1) yönelmesine yol açmaktadır. Sonuçta tanka giren soğuk suyun (T4) tank içinde vorteks ve türbülans oluşturmaya müsaade edilmemiş olunur. Tanktaki sıcaklık tabakalaşmasını bozan etkiler azaltılmaya çalışıldı. Si-



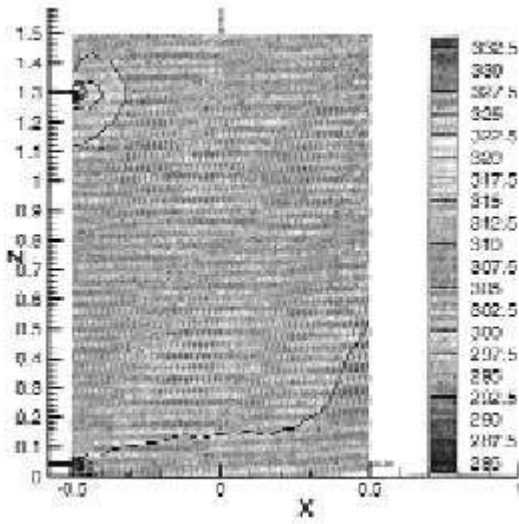
Vk=0.6 m/s Vş = 1 m/s, d1 = 20 cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı (e)

çak su depolama tanklarında genellikle sıcak kullanma suyu çıkışı (T3), tankın en üst bölümünde bulunur. Bu - nun nedeni, kullanım suyunun en yüksek sıcaklıkta sağlanmasıdır.

(a)

$V_k=0.1$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

(b)

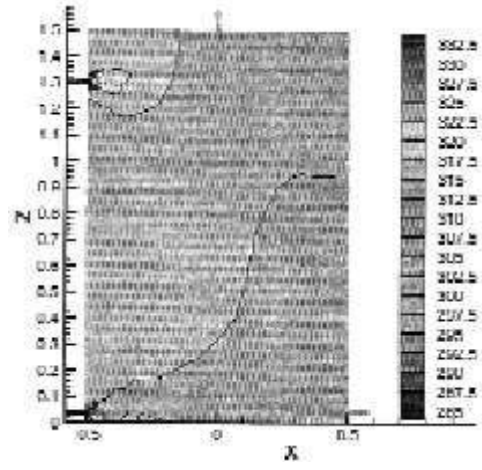


$V_k=0.2$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

(c)

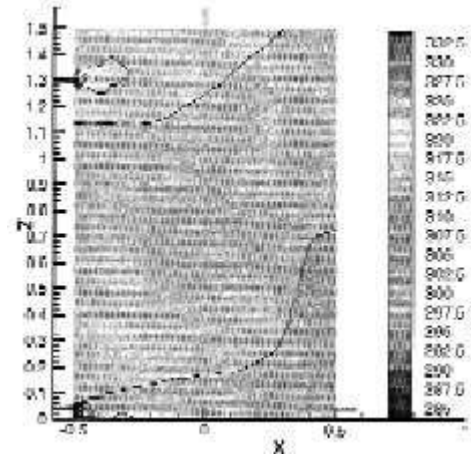
$V_k=0.4$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

(d)



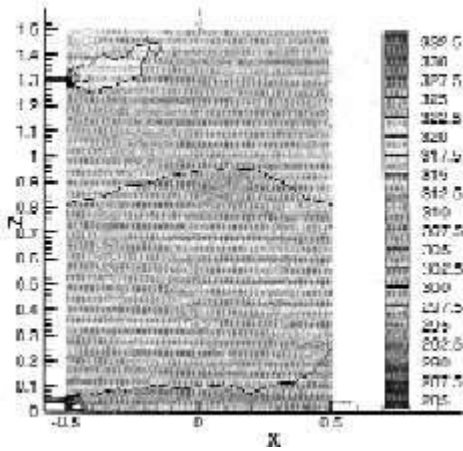
$V_k=0.8$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

(f)



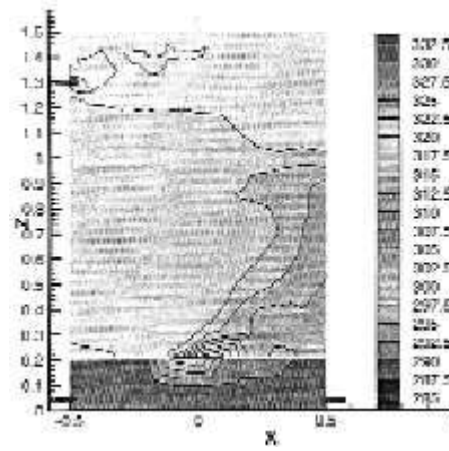
$V_k=1$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

(g)



$V_k=0.1$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

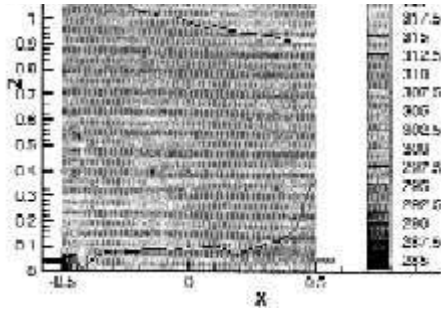
(h)



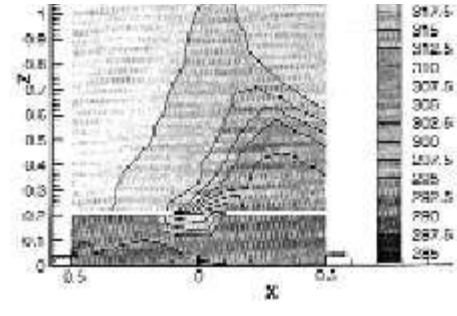
$V_k=0.6$ m/s $V_ş=1$ m/s, $d_1 = 20$ cm, $d_1 = 20$ cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

(k)

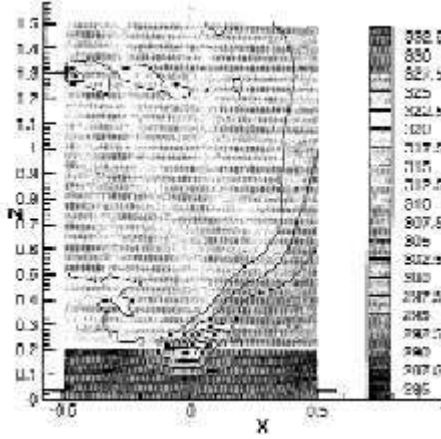




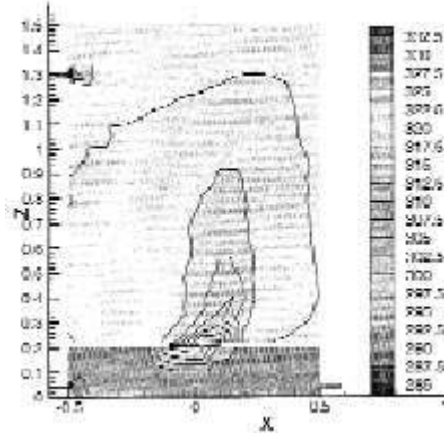
Vk=0.2 m/s Vş= 1 m/s, d1 = 20 cm, d1 = 20 cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı (i)



Vk=0.8 m/s Vş= 1 m/s, d1 = 20 cm, d1 = 20 cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı (l)

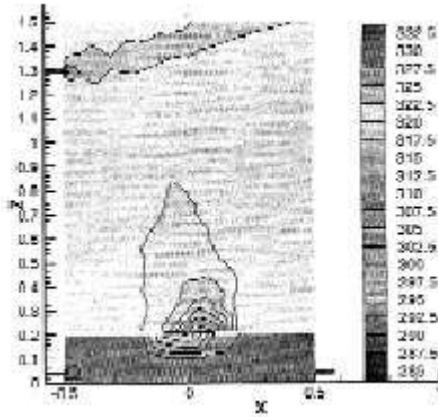


Vk=0.4 m/s Vş= 1 m/s, d1 = 20 cm, d1 = 20 cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı (j)

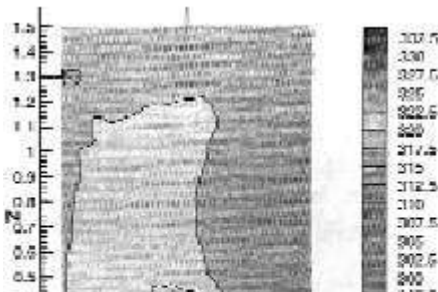


Vk=1 m/s Vş= 1 m/s, d1 = 20 cm, d1 = 20 cm şartlarında oluşan sıcaklık dağılımı

Makale



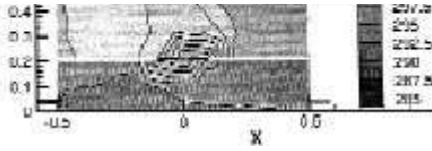
Şekil 2. z-r düzleminde tank içerisindeki sıcaklık dağılımları



ile kullanım suyu sıcaklık farkı (T_2-T_1) 'dir. Engelli ve engelsiz tank modellerinde sıcak su girişi hızları $V_k = 0.1, 0.4, 0.8$ ve 1 m/s alınarak oluşturulan sıcaklık dağılımları tank geometrisinin z-r düzlemi üzerinde gösterildi. Kullanım kanalındaki suyun sıcaklığının optimum değeri bulunmaya çalışıldı.

Bu çalışmada, engelli ve engelsiz ısı enerji depolama tanklarına giren değişik sıcak su hız değerlerinde oluşturulan sıcaklık tabakalaşmasına ait çözümler verildi. Bu oranlarda gerçekleştirilen çözümler arasından en iyi tabakalaşmanın sağlandığı uygulama şekli ve ölçüleri teorik model bölümünde verildi. Bu çalışma, ön deneylerine başlanmış olan deneysel çalışma için uygun sıcak su hız değerlerinin belirlenmesi için yapılmış bir simülasyon çalışmasıdır.

Tank içindeki tabakalaşmayı görmek için, önce tank içine herhangi bir engel yerleştirilmeden engelsiz tank için çözüm yapıldı. Engelsiz tank modelinde elde edilen çözümde tankın en üst kısmında az da olsa bir sıcaklık tabakalaşması gözlemlendi. Fakat oluşan bu ısı tabakalarının arasındaki sıcaklık farkları istenilen değerlerde değildir. Şekil 2'de engelsiz tank modeli ve içerisindeki



4. İRDELEME

Sulu ısı enerji depolama ünitelerinde, engelli tank modeline giren sıcak suyun hızları değiştirilerek, bu hız değerlerinin sıcaklık tabakalaşması üzerine etkisi nümerik olarak incelendi. Hangi hız değerinin ısı tabakalaşmaya etkisinin daha yüksek olduğu araştırıldı. Ana tanka ısıtıcı tanktan giren suyun sıcaklığı 335 K, şehir şebekesinden giren suyun sıcaklığı 285 K ve hızları ise 1 m/s alındı. İlk kullanım suyu almaya başlandığı andaki tank içerisindeki suyun sıcaklığı ise 320 K'dir. Kolektörden ilk su alınmaya başlandığı andan itibaren ilk 30 dakika sonraki en iyi sıcaklık tabakalaşmasının olduğu orandaki tank şekli belirlendi. Tanktan alınan kullanım suyu sıcaklığı (T3), ısıtıcı tanka giden suyun sıcaklığı (T1) ve ısıtıcı tanktan gelen suyun sıcaklığı

sıcaklı tabakalaşmasının sıcak su hız değerlerine göre çözümü görülmektedir. Sıcak (T2) ve soğuk su (T4), tank içine girdiklerinde, tankın ekselel kesit alanının bütün noktalarında temas halindedirler. Tankta giren sıcak ve soğuk akışkanların tankın iç yüzeyine çarpmaları nedeni ile tank içindeki sıcak ve soğuk su hız ve törlerinde dönme meydana gelmektedir. Bu durumda, sıcak su tabakaları, tanka giren soğuk su tarafından bozulmaktadır. Sıcaklık tabakalaşmasının bozulmasını gidermek için ekselel yöndeki sıcak ve soğuk su temas alanının azaltılması ve soğuk suyun tankın üst kısımlarına yönelmesi engellenmelidir. Bu nedenle tankın içerisine ortasına delik açılmış silindirik engel yerleştirildi ve tanka giren sıcak su hız değerleri kademe li artırılarak daha iyi ısı tabakalaşma sağlanmaya çalışıldı.

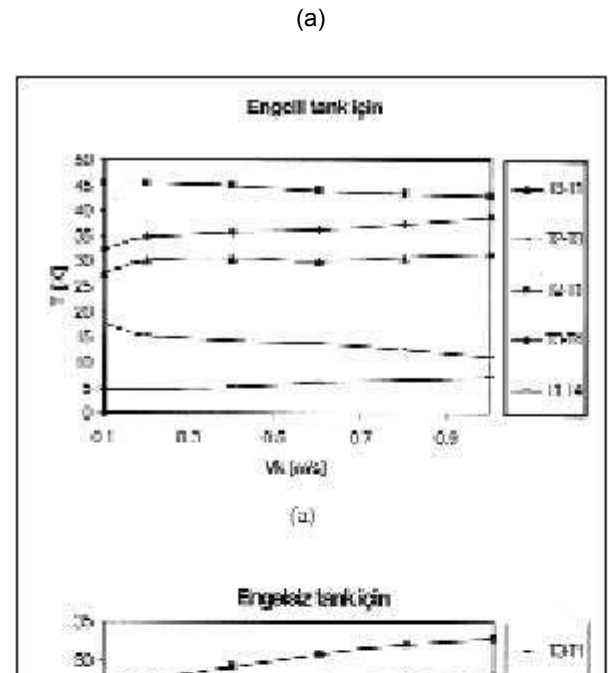
İçerisine engel yerleştirilen tank modellerinde oluşan sıcaklık dağılımlarında tabakalaşmış bölge kalınlığı ve bu bölgenin sıcaklığı; engelsiz tank modelinde oluşan, tabakalaşmış bölge kalınlığından ve sıcaklığın dan daha büyük ve daha yüksektirler. Tankta giren sıcak

su hızlarının sıcaklık tabakalaşmasına sağladığı katkıyı belirlemede en iyi gösterge (T1) ve (T3) sıcaklık değerleridir. Burada T1'in olabildiğince düşük ve (T3)'ün de olabildiğince yüksek olması istenir. İçinde engel bulunmayan, boş tankı temsil eden model için (T1) ve (T3) sıcaklık değerleri birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Bu şartlar altında elde edilen ve tabakalaşmayı ifade eden sıcaklık farkı değeri T3-T1, T3 ve T1'in değişimleri sıcak su hız değerlerine bağlı olarak Şekil 3, 4'de verildi. Burada, iyi bir sıcaklık tabakalaşması için; T3-T1 farkının ve T3 değerinin en yüksek, T1 değerinin en düşük olduğu durumun elde edilmesi ve oluşmuş ısı tabakanın korunması gerekmektedir. Şekil 2'de tank modellerinin içinde en iyi tabakalaşma hem engelli hem de engelsiz tank modellerinde $V_k = 0,8$ m/s değerinde oluşmuştur. Engelsiz model için $T3-T1=4,887$ K, engelli model için ise $T3-T1=30,928$ K'dir. Fakat engelsiz tank modelindeki T3-T1, T3 ve T1 değerleri engelli tank modelindeki değerlerden daha küçüktür. Nedeni ise sıcak su depolama tankı içine konan silindirik engelin konmasıdır. Konulan engel tank içindeki ısı tabakalaşmayı olumlu yönde etkiliyor.

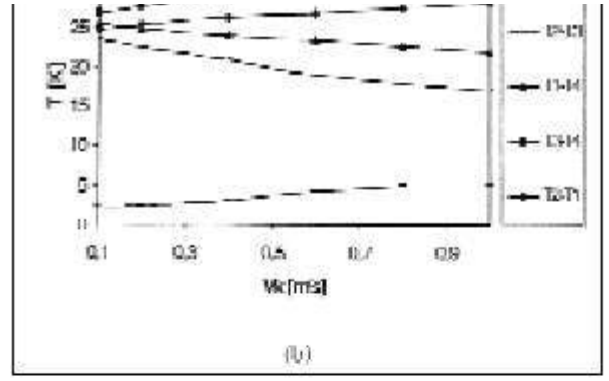
İçinde ortası delik silindirik plakaların olduğu engelli tank modellerinde, $V_k=0.1$ m/s, $V_ş=1$ m/s değerinde oluşan sıcaklık dağılımında, sıcaklık tabakalaşması oluşumu; istediğimiz bölge olan tankın en üst kısmın

tırılması ile tank içinde tabakalaşmış bölge ve bu bölge sıcaklıkları giderek büyümektedir. Bu duruma göre de bu şartlardaki bütün çözümler için sıcak su hızının artırılması sıcaklık tabakalaşması oluşumunu pozitif yönde etkiliyor diyebiliriz.

Şekil 3. Sıcaklık farkı dağılımları



da yaklaşık 315 K değerinde oluşmuştur. Bu oluşan sıcaklık tabakalaşması istediğimiz düzeyde değildir. $V_k=0.8$ m/s $V=1$ m/s değerlerinde üretilen çözümlerde kollektörden gelen sıcak su hızının artırılması ile tank içinde tabakalaşmış bölge ve bu bölge sıcaklıkları giderek büyümektedir. Bu duruma göre de bu şartlardaki bütün çözümler için sıcak su hızının artırılması sıcaklık tabakalaşması oluşumunu pozitif yönde etkiliyor diyebiliriz. Yine içinde ortası delik silindirik plakaların olmadığı sadece tank modellerinde, örneğin $V_k=0.1$ m/s, $V_ş=1$ değerinde oluşan sıcaklık dağılımında sıcaklık tabakalaşması oluşumu istediğimiz bölge olan tankın en üst kısmında oluşmaktadır. Fakat, sıcaklık tabakası sıcaklık değeri olarak engelli tank modeline göre düşüktür. Bu oluşan sıcaklık tabakalaşması istediğimiz düzeyde değildir $V_k = 0.8$ m/s $V = 1$ m/s değerlerinde üretilen çözümlerde ise tanka giren sıcak su hızının ar-

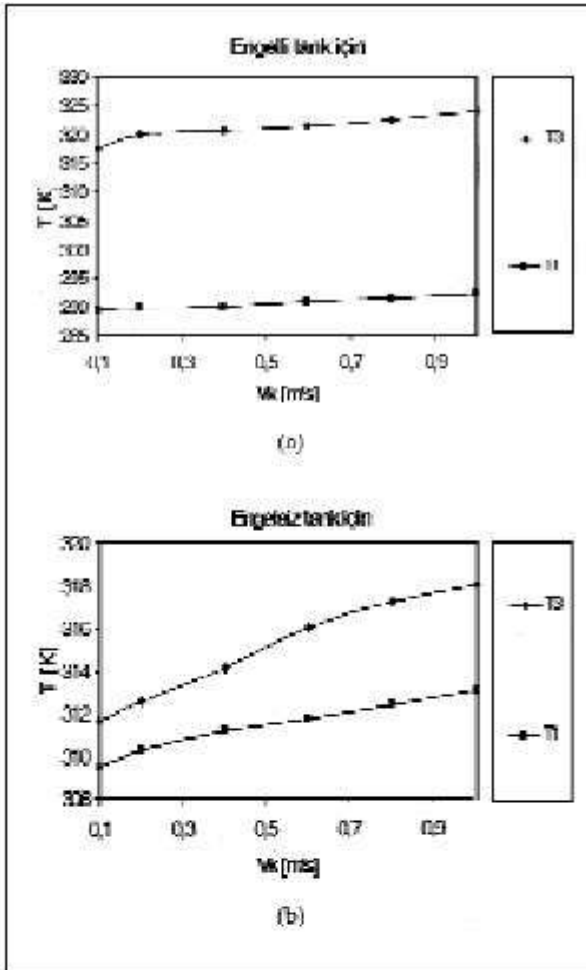


Şekil 4. T3 ve T1 sıcaklık dağılımları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada engelsiz ve içerisinde ortası delik silindirik engelin bulunduğu silindirik ısı enerji depolama tankları üzerinde sayısal çalışma yapılarak, bu model

Makale



lere ait sıcaklık dağılımları, z-r düzlemi üzerinde verildi. İçinde engel bulunmayan tank modeli için de çözüm üretildi ve tank içindeki sıcaklık dağılımı, z-r düzleminde gösterildi. Yapılan çözümlerden elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir:

Sıcaklık dağılımlarına bakılarak, içerisinde engel ko-

Yukarıdaki şekil ve grafiklere bakıldığında sıcak su hız değerlerinin artırılması ile birlikte engelli tank modelindeki T3, T1 ve T3-T1 değerleri engelsiz modele göre daha yüksektir. Burada, iyi bir sıcaklık tabakalaşması için; T3-T1 farkının ve T3 değerinin en yüksek, T1 değerinin en düşük olduğu durumun elde edilmesi ve oluşmuş ısı tabakanın korunması gerekmektedir. Şekil 2'de tank modellerinin içinde en iyi tabakalaşma, hem engelli hem de engelsiz tank modellerinde Şekil 3 ve 4'deki grafiklere bakılarak, $V_k=0.8$ m/s değerinde oluşturuldu. Engelsiz model için $T3 - T1=4,887$ K, engelli model için ise $T3 - T1=30,928$ K'dir.

Isıl enerji depolama tanklarına engel konulması ve bununla birlikte de tanka giren sıcak su hızının makul ölçüde artırılması, tank içerisinde sıcaklık tabakalaşmasının oluşmasının ve muhafazasını iyileştirmenin yanı sıra, tankın alt tarafında, güneş kollektörlerine gönderilecek su sıcaklığının da (T1) düşük sıcaklıkta olmasını sağlayacağı için, kollektör veriminin yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır.

6. SİMGELER ve KISALTMALAR

c_p	Sabit Basınçta özgül ısı
g	Yer çekimi ivmesi
k	Isı iletim katsayısı
V_k	Kollektörden tanka giren sıcak su hızı
$V_ş$	Şehir suyu şebekesinden tanka giren soğuk su hızı
D	Tankın çapı
H	Tankın yüksekliği
f	Soğuk su giriş çıkış kanalının tankın tabanı

Sıcaklık dağılımlarına bakılarak, içerisinde engel konulan tank modellerindeki sıcaklık dağılımlarının ve sıcaklık tabakalaşmasının, içerisine engel konulmamış tank modeline göre, daha iyi olduğu belirlendi.

Hem engelli hem de engelsiz sıcak su depolama tanklarında tanka giren sıcak su hızlarının artırılması; hem ısı tabakalaşmış bölge sıcaklığını hem de ısı olarak tabakalaşmış bölge hacmini artırmaktadır. Tankta giren sıcak su hızının azaltılması ise ısı olarak tabakalaşmış bölge sıcaklığının ve tabakalaşmış bölge hacmini azaltmaktadır. Bu durumlara bakılarak mutlaka en yüksek hız değerini seçmek uygundur denilebilir.

r_1	Soğuk su giriş-çıkış kanallarının tankın tabanına uzaklığı
d	Akışkanın giriş çıkış kanalları çapı
d_1	Sıcak su giriş kanalının tankın üzerine uzaklığı
d	Silindirik plakada açılan deliğin çapı
l	Soğuk ve sıcak giriş-çıkış kanallarının uzunluğu
T	Sıcaklık
T_3	Kullanım suyu sıcaklığı
T	Isıtıcıya giden suyun sıcaklığı
T_2	Isıtıcıdan gelen suyun sıcaklığı
T_4	Şehir şebekesinden gelen suyun sıcaklığı
t	Zaman

V_r	r-yönündeki hız
V_q	l-yönündeki hız
V_z	z-yönündeki hız
r, q, z	Silindirik koordinatlar

Yunan harfleri

F	Vikoze disipasyonu
b	Hacimsel genişleme katsayısı
\emptyset	Genel bağımlı değişken
m	Dinamik viskozite
r	Yoğunluk

7. KAYNAKLAR

1. Alizadeh S., An Experimental and Numerical Study of Thermal Stratification in a Horizontal Cylindrical Solar Storage Tank, Solar Energy, Vol.66, No.6, pp. 409-421, 1999.
2. Al-Nimr M.A., Temperature Distribution Inside Electrical Hot Water Storage Tanks, Applied Energy, Vol. 48, pp. 353-362, 1994.
3. Mısra R.S., Thermal Stratification with Thermosyphon Effects in Solar Water Heating Systems, Energy Conversion Management, Vol. 35, No. 3, pp. 193-203, 1994.
4. Helwa N.H., Mobarak A.M., Effect of Hot Water Consumption on Temperature Distribution in a Horizontal Solar Water Storage Tank, Applied Energy, Vol. 52, pp. 185-194, 1995.
5. Hariharan K., Badronarayana K., Temperature Stratification in Hot Water Storage Tanks, Energy, Vol. 16, No. 7, pp.977-982, 1991.
6. Hahne E., Chen Y., Numerical Study of Flow and Heat Transfer Characteristics in Hot Water Stores, Solar Energy, Vol. 64, No. 1-3, pp. 9-18, 1998.
7. Prapas D.E., Tsiamouris S.G., Storage Tanks Interconnection and Operation Modes in Large DHW Solar Systems, Solar Energy, Vol. 51, No.2, pp. 83-91, 1993.
8. Mo Y., Miyatake O., Numerical Analysis of the Transient Turbulent Flow Field in a Thermally Stratified Thermal Storage Water Tank, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 30, pp. 649-667, 1996.
9. Yoo H., Kim C.J., Approximate Analytical Solutions for Stratified Thermal Storage under Variable Inlet Temperature, Solar Energy, Vol. 66, No. 1, pp. 47-56, 1999.
10. Eames P.C., Norton B., The Effect of Tank Geometry on Thermally Stratified Sensible Heat Storage Subject to Low Reynolds Number Flows, Int. J. of Heat Transfer, Vol. 41, No. 14, pp. 2131-2142, 1998.
11. P.V. Suhas, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, pp. 79-109, Hemisphere Pub. Co., New York, 1980.
12. FLUENT Support Group, Fluent 5 User's Guide, Fluent, Inc. 04-07-1999.

